



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**CONCENTRAÇÕES E FORMAS DE FÓSFORO NA ÁGUA E SEDIMENTO DE
RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO RIO
MAMANGUAPE, PARAÍBA, BRASIL.**

JOSEILSON DOS SANTOS SILVA

AREIA, PB

FEVEREIRO DE 2018

JOSEILSON DOS SANTOS SILVA

**CONCENTRAÇÕES E FORMAS DE FÓSFORO NA ÁGUA E SEDIMENTO DE
RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO RIO
MAMANGUAPE, PARAÍBA, BRASIL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Bacharelado em Química da
Universidade Federal da Paraíba – Centro de
Ciências Agrárias, em cumprimento às
exigências para obtenção do título de
Bacharel em Química.

ORIENTADOR: Prof. Dr^a. Luciana Gomes Barbosa

COORIENTADOR: Eng. Agro. João Paulo de Oliveira Santos

AREIA, PB

FEVEREIRO DE 2017

JOSEILSON DOS SANTOS SILVA

**CONCENTRAÇÕES E FORMAS DE FÓSFORO NA ÁGUA E SEDIMENTO DE
RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO RIO
MAMANGUAPE, PARAÍBA, BRASIL.**

MONOGRAFIA APROVADA EM: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a. Luciana Gomes Barbosa - Orientadora

DFCA/CCA/UFPB

Msc. Kalline de Almeida Alves Carneiro – Examinadora

PPGCS/CCA/UFPB

Bl^a. Fátima dos Santos Silva – Examinadora

PPGBIO/CCA/UFPB

“Para mim viver é continuar sempre motivado. O significado da vida não é simplesmente existir, sobreviver, mas sim crescer, alcançar e conquistar. ”

Arnold Schwarzenegger

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me capacitado, me dado ânimo quando não suportava mais estudar, esperança quando quis jogar tudo para o alto, sabedoria para aprender um pouco a ciência e perseverança quando quis desistir.

Aos meus pais, José Honório da Silva e Maria Solange da Silva por terem sido minha base durante essa jornada. Agradeço pelo carinho, amor, afeto, cuidado e zelo dedicados a mim durante esses anos. Tudo o que conquistei até hoje devo a vocês. Meu muito obrigado. Amo vocês!

Aos meus irmãos e sobrinhos, Ana Claudia, Claudiano e Valdiano, Carlos Eduardo, Ruan Pablo, Luís Antônio, Luís Felipe, Lívia, Lucas, pelo grande apoio, companheirismo e carinho. De forma especial ao meu irmão Josiano dos Santos Silva (*in memoriam*), agradeço pela sua intercessão, sei que estais muito feliz por mim. "Então vamos viver, um dia a gente se encontra". Amo você!

Ao meu Avô, Severino Luís, mais conhecido como Seu Vivo, pelo carinho, amor, afeto e pelo apoio. Sempre que nos encontramos ele diz: "tenho orgulho de ter um neto doutor". Amo o senhor meu avô.

A minha esposa, Thaís Ribeiro Félix, pela sua compreensão, apoio, carinho, amor, dedicação e paciência. Você sem dúvida foi meu maior incentivo... Por sua cumplicidade, pela motivação e pelo companheirismo. Te amo.

Ao meu amigo Thiago Ribeiro Félix, sempre me incentivando, apoiando, tirando dúvidas de Física, colaborando de forma direta para o meu crescimento profissional. Estamos juntos ninja! Abraço.

Aos meus irmãos e colegas do Grupo de Oração Chama Viva – RCC, pelas orações, incentivo, apoio e carinho. Muito obrigado.

A Professora e orientadora, Dr^a. Luciana Gomes Barbosa, por ter acreditado em mim, no meu potencial, por sempre me ensinar, pela transmissão do seu conhecimento de forma sucinta e clara. Pelo carinho, pelas conversas, pelos puxões de orelhas, pela disponibilidade de sempre. Por sua confiança no meu trabalho, por me impulsionar a querer crescer. Meu muito obrigado! Deus lhe abençoe professora. Saiba que lhe tenho como uma mãe!

A meu amigo e colega de trabalho, João Paulo de Oliveira Santos, pelo seu tempo, compromisso, ajuda, dedicação, honradez, presteza. Por compartilhar seu conhecimento de Química, por tolerar meus atrasos no laboratório (risos). Meu muito obrigado. Desejo muito sucesso a você! Estamos juntos!

A minha colega (Cris) Cristina Pereira, que sempre me auxiliou na parte química da pesquisa, sempre que podia estava presente no (lab), e sempre com uma autoestima

nas alturas. Muito obrigado, por compartilhar do seu conhecimento. Deus continue lhe abençoando.

A minha colega Kaline de Almeida Carneiro, por sempre abrir às portas do seu ambiente de trabalho (laboratório) para nos ajudar na pesquisa. Sua contribuição é de grande valia. Muito grato por tudo. Meu muito obrigado. Deus abençoe! Abraço.

Ao meu colega Rafael Machado, pela sua contribuição no desenvolver estatístico deste trabalho, pelo seu sim e sua contribuição. Muito obrigado parceiro. Estamos juntos. Abraço.

Aos meus colegas do NULIBAC, Danielle, Fátima, Karine, Verônica, que direta ou indiretamente me ajudaram, pelas conversas, risadas, trabalhos, brincadeiras, almoços no laboratório (risos), bom demais. Deus abençoe sempre vocês!

Aos meus colegas dos Cursos de Química, Ana Cláudia, Carlos Alberto, Cristiane Marques, Emmanuel Borges, Ellen Shir, Givanildo Freire, Jânio Félix, Joabel Freire, Josinaldo Maranhão e etc, pelo apoio, incentivo e colaboração durante essa jornada. Estamos juntos galera massa!

Aos professores, Dayse Moreira, Emanuelle Alícia, Edilene Moreira, Sidney de Santana, Sheila Costa pelo apoio, confiança e também pela credibilidade na minha pessoa. Professores do nível de vocês seriam de uma melhora incrível para a educação a nível nacional. Meu muito obrigado. Abraço.

De maneira especial a Professora Dr^a M^a Betânia Hermenegildo, por sempre apoiar não só a minha pessoa, mas a todos os discentes dos cursos de Química. Onde me incentivou, apoiou, mostrando o caminho certo a seguir. Parabéns professora, a senhora sempre sendo profissional sem deixar de ser humilde. Fazendo o que está sempre ao seu alcance para ver seus alunos crescerem. Deus continue abençoando a senhora como pessoa e como profissional, tenho orgulho de tê-la como Docente. Meu muito obrigado!

A minha colega, Tereziana da Silva, pela sua disponibilidade, serenidade, paciência, e presteza. Por sempre me ajudar no laboratório de Química, sempre que precisei. Muito obrigado.

Aos demais colegas docentes e discentes do CCA, muito obrigado pela contribuição. Deus os abençoe.

SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS	i
LISTAS DE TABELAS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo Geral.....	13
2.2. Objetivos Específicos.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1. Eutrofização	14
3.2. Fósforo	15
3.3. Qualidade de Água.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1. Área de Estudo.....	19
4.2. Amostragens	20
4.3. Precipitação Pluviométrica	20
4.4. Procedimentos de Amostragem	21
4.4.1. Variáveis Analisadas <i>In Situ</i>	21
4.4.2. Sedimento.....	21
4.4.3. Água.....	21
4.5. Análises de Fósforo Total e Ortofosfato na Água	22
4.6. Índice de Estado Trófico (IET).....	22
4.7. Preparo das amostras de Sedimento para Análise.....	22
4.8. Parâmetros Analisados no Sedimento.....	23
4.8.1. Fósforo Total	23
4.8.2. Fracionamento do Fósforo: Inorgânico e Orgânico.....	23
4.8.3. Fracionamento do Fósforo Inorgânico Não Apatítico - P _{nap} e do Fósforo Inorgânico Apatítico - P _{ap}	24
4.9. Análise Estatística.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1. Precipitação Pluviométrica	25
5.2. Caracterização Físico Química da Coluna de Água	26

5.3. Caracterização do Sedimento.....	30
6. CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS.....	34

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. A – Barragem Mazagão I. B – Barragem Mazagão II. Areia, Paraíba.	20
Figura 2. Valores de Transparência e Precipitação observados nos ambientes monitorados.	27
Figura 3. Valores de Condutividade Elétrica e Precipitação observados nos ambientes monitorados.	28
Figura 4. Índice de Estado Trófico dos ambientes monitorados.	30
Figura 5. Gráfico da Análise de Componentes Principais (Água).	31
Figura 6. Gráfico da Análise de Componentes Principais (Sedimento).	34

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Precipitação pluviométrica no município de Areia- Paraíba no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2015.....	26
Tabela 2. Média \pm desvio padrão (DP) das variáveis da água nos ambientes monitorados no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2015.	28
Tabela 3. Valores de pH e Matéria Orgânica (%) no sedimento dos reservatórios monitorados.	32
Tabela 4. Valores de fósforo total, orgânico e inorgânico (mg kg^{-1}) no sedimento dos reservatórios monitorados.....	32
Tabela 5. Valores de Fósforo Inorgânico Apatítico e Fósforo Inorgânico Não Apatítico (mg kg^{-1}) no sedimento dos reservatórios monitorados.....	33

SILVA, Joseilson dos Santos. **Concentrações e Formas de Fósforo na Água e Sedimento de Reservatórios de Abastecimento Público na Bacia do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.** Areia – PB, 2017. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química - Bacharelado) – Universidade Federal da Paraíba.

RESUMO

A eutrofização de origem antrópica ou natural ocorre em virtude do acúmulo de nutrientes como fósforo (P) e nitrogênio (N), pois no excesso deles aumenta o número ou crescimento excessivo de plantas aquáticas e floração de algas tóxicas, com sérios prejuízos para usos múltiplos, com grandes impactos mundiais na natureza. O fósforo é um dos elementos mais relevantes no estabelecimento do processo de eutrofização, chegando ao meio aquático através do lançamento de efluentes domésticos, atividades industriais e carreamento de fertilizantes de áreas agrícolas. O objetivo desse trabalho foi avaliar os teores de fósforo na água e sedimento de dois reservatórios de abastecimento público, na Bacia do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Onde o experimento foi conduzido, e foram coletadas amostras de água e sedimento, em um período de 12 meses. As variáveis analisadas foram, pH, condutividade elétrica, temperatura e transparência foram realizadas “*in situ*”. Em laboratório determinou-se os teores de fósforo total, ortofosfato na água e o fracionamento das formas de fósforo no sedimento. A transparência e o pH da água sofreram influência da sazonalidade, evidenciando a importância desse agente na dinâmica da qualidade de água. Na água os valores de P-Total variaram de 23,01 µg/L em Mazagão I para 25,95 µg/L em Mazagão II, e os valores de P-Orto de 7,26 µg/L µg/ em Mazagão I para 7,84 em Mazagão II, onde na maioria dos meses, os reservatórios apresentaram-se como oligotróficos, com baixos valores de P-total e ortofosfato na água, no entanto foram encontrados valores relativamente altos em meses do período seco, onde foram classificados assim como eutróficos. Os teores de P-total no sedimento variaram entre 1521,97 mg kg⁻¹ a 4806,72 mg kg⁻¹, valores elevados e que refletem a grande carga de fósforo presentes nesses ambientes. O fracionamento indicou predominância do P-inorgânico, com valores entre 1434,14 mg kg⁻¹ a 4298,79 mg kg⁻¹, no entanto boa parte estava na forma Apatítica. Por sua vez, a fração não Apatítica, potencialmente disponível para a coluna d’água, sofreu influência dos baixos valores de pH no sedimento, o que favorece a sua adsorção ao ferro e alumínio, logo quanto menor for o pH, mais ácido será o sedimento. De forma geral, os resultados indicaram um potencial controle natural na liberação de fósforo a partir do sedimento, bem como sua precipitação da coluna d’água e imobilização no sedimento.

Palavras chave: Qualidade de água; sazonalidade; fracionamento de fósforo.

SILVA, Joseilson dos Santos. **Concentrations and Phosphorus Forms in the Water and Sediment of Reservoirs of Public Supply in the Mamanguape River Basin, Paraíba, Brazil.** Areia - PB, 2017. 41 p. Graduation in Chemistry - Bachelor's Degree - Federal University of Paraíba.

ABSTRACT

Eutrophication of anthropogenic or natural origin occurs due to the accumulation of nutrients such as phosphorus (P) and nitrogen (N), because in the excess they increase the number or excessive growth of aquatic plants and the flowering of toxic algae, with serious damages for multiple uses, with major global impacts on nature. Phosphorus is one of the most relevant elements in the establishment of the eutrophication process, reaching the aquatic environment through the launch of domestic effluents, industrial activities and transport of fertilizers from agricultural areas. The objective of this work was to evaluate the phosphorus content in the water and sediment of two reservoirs of public supply, in the Mamanguape River Basin, Paraíba, Brazil. Where the experiment was conducted, water and sediment samples were collected over a period of 12 months. The analyzed variables were pH, electrical conductivity, temperature and transparency were performed "in situ". In the laboratory, total phosphorus, orthophosphate in water and fractionation of phosphorus forms in the sediment were determined. The transparency and pH of the water were influenced by seasonality, evidencing the importance of this agent in the water quality dynamics. In the water the values of P-Total ranged from 23.01 $\mu\text{g} / \text{L}$ in Mazagão I to 25.95 $\mu\text{g} / \text{L}$ in Mazagão II, and P-Ort values of 7.26 $\mu\text{g} / \text{L}$ $\mu\text{g} /$ in Mazagão I for 7,84 in Mazagão II, where in most of the months, the reservoirs presented as oligotrophic, with low values of P-total and orthophosphate in the water, however, relatively high values were found in months of the dry period, where they were classified as as eutrophic. The values of P-total in the sediment varied between 1521.97 mg kg^{-1} and 4806.72 mg kg^{-1} , high values and that reflect the great phosphorus load present in these environments. Fractionation indicated a predominance of P-inorganic, with values between 1434.14 mg kg^{-1} and 4298.79 mg kg^{-1} , although a good part was in Apatítica form. On the other hand, the non-Apatitic fraction, potentially available for the water column, was influenced by the low pH values in the sediment, which favors its adsorption to iron and aluminum, so the lower the pH, the more acidic the sediment. In general, the results indicated a potential natural control in the release of phosphorus from the sediment, as well as its precipitation of the water column and immobilization in the sediment.

Keywords: Water quality; seasonality; phosphorus fractionation.

1. INTRODUÇÃO

A eutrofização é um grave problema ambiental, sendo caracterizado por alterar os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água, como por exemplo, a redução da transparência, depleção de oxigênio, geração de meio propício à floração de algas potencialmente tóxicas, mortandade de peixes e maiores custo de tratamento para a obtenção de água potável (MOTEW et al., 2017). Um dos grandes problemas relacionados à disponibilidade de água de boa qualidade se dá pelos efeitos ocasionados pelo processo de eutrofização, que é responsável pela grande parte da inutilização de corpos aquáticos ao redor do mundo. Isso ocorre, devido o acarretamento de nutrientes como N e P nos corpos hídricos, principalmente, ofertando a disponibilidade de água com boa qualidade.

Na região Nordeste do Brasil esse problema é potencializado pelos longos períodos de estiagem associados à elevada abstração da água o aumento da urbanização e o esgotamento sanitário insipiente. Associado a esse fator destaca-se o balanço hídrico negativo e as altas temperaturas durante a maior parte do ciclo hidrológico, o que leva a intensificação da acumulação e concentração de nutrientes, gerando um meio mais propenso à eutrofização (BARBOSA, et al., 2012).

Nesse contexto de degradação dos recursos hídricos, se faz necessário adotar medidas, como avaliação da qualidade da água, a qual é norteadora de ações de controle da poluição e gerenciamento de recursos, para melhorar as condições dos corpos aquáticos (WU et al., 2018; SANTANA et al., 2018), investigando os processos e a dinâmica das variáveis ambientais.

Logo a avaliação do sedimento para avaliar a dinâmica do P, no processo de eutrofização é eficaz, em decorrência de armazenar cerca de 99% das espécies químicas presentes nos corpos hídricos (EZAKI et al., 2011).

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água e os teores de fósforo na água e sedimento de dois reservatórios de abastecimento público do Brejo de altitude da Paraíba.

2.2.Objetivos Específicos

- Avaliar parâmetros abióticos: condutividade elétrica e temperatura.
- Determinar o Índice de Estado Trófico (IET);
- Determinar o Potencial de Hidrogeniônico (pH) e teores de Matéria Orgânica no sedimento dos reservatórios estudados;
- Quantificar os teores de Fósforo Total e Ortofosfato da água nos reservatórios monitorados;
- Realizar o fracionamento do Fósforo Inorgânico, determinando suas frações Apatítica e Não Apatítica;
- Quantificar os teores de Fósforo Total, Orgânico e Inorgânico no sedimento.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Eutrofização

O processo de eutrofização é utilizado para indicar um processo de aumento de produtividade biológica, associado ao aumento excessivo da produção de biomassa de produtores primários, geralmente causada pela elevada concentração de nutrientes (HUTCHINSON, 1957). Pode ter causas naturais ou artificiais, sendo um processo lento e contínuo, resultante do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e águas superficiais que desgastam e lavam a superfície terrestre. Em condições naturais, sem que haja interferência das atividades humanas, lagos profundos e com baixa produtividade biológica podem apresentar elevação da precipitação e deposição de nutrientes entre outros compostos, tornando-se mais rasos, com alta produtividade biológica e enriquecida por nutrientes. A velocidade de desenvolvimento do processo de eutrofização natural é bastante lenta, ocorrendo em função do tempo (WETZEL, 1983; MARGALEF, 1983; SCHIEWER, 1998).

A eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, gerando um meio propício ao crescimento excessivo das plantas aquáticas. Um grande problema relacionado à eutrofização é a proliferação de cianobactérias em detrimento de outras espécies aquáticas (CONLEY et al., 2009). A floração de cianobactérias requer atenção, pois diversas espécies liberam

toxinas, causando transtornos como ocorreu em Caruaru em 1996, onde essas toxinas provocaram a morte de 40 pacientes de uma clínica de hemodiálise (OSORIO & OLIVEIRA, 2001).

Dentre os nutrientes transportados ou lançados nos reservatórios ou corpos hídricos, o fósforo é amplamente reconhecido como principal nutriente que causa a eutrofização acelerada, provocada por fontes antrópicas difusas ou pontuais (TUNDISI, 2008).

A eutrofização artificial (ou antrópica) é promovida pelo homem e pode conter diferentes origens, como: industriais e atividades agrícolas, efluentes domésticos, incluindo ainda os efluentes de sistemas de criação de organismos aquáticos. Devido ao aumento das atividades industriais, crescimento demográfico e da descarga de nutrientes nos sistemas aquáticos há um avanço significativo na evolução deste processo. Logo há um aumento nas concentrações de Fósforo e Nitrogênio, que são os principais responsáveis pela eutrofização em ecossistemas continentais, onde há um desenvolvimento de algas e crescimento excessivo de plantas aquáticas, como cianobactérias e *Pistia*, *stratiotes* ou *Eichhornia crassipes*. (MARGALEF, 1983; WETZEL, 1983; ESTEVES, 1998; THOMAZ e BINI, 1999; TUNDISI, 2003).

De acordo com (ESTEVES, 1998) em vista do aumento das concentrações de nutrientes, há aceleração da produtividade de algas, alterando a ecologia do sistema aquático. Os nutrientes, ao serem lançados na água, contribuem para aumento da produção orgânica do sistema, com elevação da biomassa fitoplanctônica e consequente diminuição na penetração de luz.

Assim, a taxa de decomposição e consumo de oxigênio pelos organismos podem ocasionar produção de metano (CH_4) e gás sulfídrico (H_2S) no sedimento. Entretanto, os nutrientes disponibilizados na coluna d'água contribuirão novamente para a produção fitoplanctônica. Nesse caso, o ecossistema pode produzir ainda mais matéria orgânica do que é capaz de consumir e decompor, com profundas mudanças no metabolismo de todo o ecossistema e nas concentrações de oxigênio nas camadas superiores, por conta da decomposição bacteriana da matéria orgânica no sedimento (HUTCHINSON, 1957; MARGALEF, 1983; WETZEL, 1983).

3.2. Fósforo

O fósforo presente nas águas é assimilado pelos organismos aquáticos, principalmente os produtores primários, sob a forma de fósforo inorgânico dissolvido, incorporando assim na parte viva do ecossistema (fósforo orgânico).

De uma maneira simples, o ciclo do fósforo em águas continentais ocorre do seguinte modo: O fósforo é liberado da rocha de origem por intemperismo e erosão natural e/ou pela remobilização de solos e sedimentos através dos diversos usos pelo homem. Uma vez liberado, o fósforo chega aos corpos aquáticos continentais por infiltração e lixiviação pelas águas das chuvas.

Na natureza o fósforo encontra-se em três formas de fosfato: 1) ortofosfato - forma iônica, solúvel e disponível para os produtores primários; 2) polifosfatos - comumente adsorvidos às partículas do solo; e 3) fosfatos organicamente ligados - que estão presente na matéria orgânica. Os fosfatos organicamente ligados e os polifosfato são formas de fósforo particuladas e só representam alguma fonte de nutriente para os produtores primários a médio e longo prazo. Às formas de fósforo apresentam dinâmica complexa em relação aos sedimentos, à coluna d'água e à água em si, dependente dos processos físicos, químicos e biológicos dominantes, determinados em função das características morfométricas dos reservatórios e que interagem fortemente com o tempo de residência do fluxo de água e com os fatores meteorológicos. Os efeitos decorrentes dessas inter-relações estabelecem o estado trófico desse sistema aquático (FRANZEN, 2009).

O fósforo no sedimento é diretamente ligado pela concentração de oxigênio presente na água de contato. Desta maneira, se a coluna d'água for aeróbica, o fósforo é precipitado no sedimento, enquanto que se esta for anaeróbica, o fósforo é liberado novamente para a coluna d'água (LIBES, 1992).

O ciclo do fósforo é determinado pela influência de processos biológicos e geoquímicos, como adsorção-dessorção e precipitação-dissolução. A ocorrência de um destes processos depende de fatores físicos como entrada de nutrientes, turbidez, tempo de residência e a ocorrência de estratificação na coluna d'água (DE JONGE, et al, 2002).

O fósforo pode passar através de vários níveis tróficos antes de voltar ao sedimento, onde são decompostos por bactérias e fungos, reciclando-se em uma escala de tempo relativamente curto. Neste caso, ocorre liberação de fósforo para o meio sob a forma inorgânica (ESTEVES, 1998).

Parte do fósforo presente nos detritos é liberada ainda na zona eufótica, antes desta fração ser sedimentada. Este fósforo provém principalmente da fração orgânica, que é rapidamente decomposta pelos microrganismos e ré-assimilado pela biota na coluna d'água (BAUMGARTEM et al, 2003).

A dinâmica do fósforo está diretamente ligada aos sedimentos aquáticos. A retenção ou liberação do nutriente a partir do sedimento encontra-se altamente correlacionadas às condições de oxirredução na interface água-sedimento, e também ao pH, temperatura e atividade microbiana (OLILA & REDDY, 1997). Os sedimentos constituem-se como verdadeiros arquivos de informações de natureza física, química e biológica, uma vez que as camadas são depositadas temporal e sequencialmente (MOZETO, 2004).

Na eutrofização, a liberação do fósforo do sedimento para a coluna de água pode contribuir em intensidades iguais, ou até mesmo superiores, na contribuição externa de fósforo. Assim, esta liberação do fósforo a partir do sedimento pode dificultar a recuperação de lagos, mesmo quando são tomadas medidas para reduzir o aporte da carga de nutrientes (BOERS, et al., 1998).

3.3. Qualidade de Água

No Brasil, e na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte do esgoto bruto é lançada sem nenhum tratamento prévio nos cursos de água. Esse grande aporte de matéria orgânica e poluente tem sido relatado como o principal responsável pelo processo de eutrofização de uma grande variedade de ambientes aquáticos, gerando preocupação crescente pelo alto grau de poluição e contaminação em que se encontram, atualmente, lagos e outros ambientes continentais (TUNDISI, 2003).

O manejo dos recursos hídricos nas regiões semiáridas é de grande interesse, devido aos sérios problemas relacionados à qualidade bem como à quantidade hídrica. Considera-se assim necessário a intensificação dos esforços da gestão de recursos hídricos para garantir o abastecimento, assim como reduzir o consumo ou as perdas de água. Além disso, torna-se igualmente necessária a proteção e gestão ambiental dos ecossistemas aquáticos (água subterrânea, rios, lagos, águas costeiras) para um abastecimento sustentável e de boa qualidade, própria para o consumo humano, assim

como formulado pela Ecosystem Health Concept dos Estados Unidos da América (EPA 1996, 1998).

Para assegurar e garantir a ingestão águas livres de substâncias não nocivas à saúde da população, a qualidade da água é avaliada pela análise de alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos de acordo com CETESB (2006) e com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/2005:

- Temperatura da água, que varia entre 0°C e 30°C, desempenha um importante papel no controle de espécies aquáticas, podendo ser considerada uma das características mais importantes do meio aquático.
- O pH, influencia os ecossistemas aquáticos naturais devido a seus efeitos na fisiologia de diversas espécies. Para que se conserve a vida aquática, o pH ideal deve variar entre 6 e 9 (CONAMA 357/2005).
- Turbidez, medida da capacidade da água em dispersar a radiação solar. É expressa, entre outras unidades, por NTU (Nephelometric Turbidity Units), sofre influência direta da presença de sólidos em suspensão, que impedem que o feixe de luz penetre na água, reduzindo a fotossíntese da vegetação submersa e algas (TAVARES, 2005).
- Sólidos em Suspensão, é indicativo de todas as impurezas, com exceção dos gases dissolvidos, são considerados sólidos suspensos em corpos d'água. Altas concentrações de sólidos em suspensão reduzem a passagem de luz solar, afetam organismos bentônicos e desequilibram as cadeias tróficas (TAVARES, 2005).
- Condutividade é a medida da capacidade da água em conduzir corrente elétrica, cujos valores são expressos em micro Siemens ($\mu\text{S cm}^{-1}$). É função da concentração de íons presente na água que possam conduzir esta corrente elétrica, mas seu valor, além de depender da temperatura, também difere para cada íon (ESTEVES, 1998).
- Oxigênio Dissolvido é um elemento essencial no metabolismo dos seres aquáticos aeróbicos. Em águas correntes, sob circunstâncias normais, o conteúdo

de oxigênio é alto e varia ao longo do rio, devido a alterações em suas características ambientais e em consequência das condições climáticas (MAIER, 1987). Seu valor indicado não é inferior a 5mg/L (CONAMA 357/05).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

O Estado da Paraíba possui uma extensão territorial de 56.439,84 km², correspondente a 3,63% da área da região Nordeste. “Situado entre as latitudes 06°00’11,1” e 08°19’54,7” sul e as longitudes 34°45’50,4” e 38°47’58,3” oeste, a vegetação apresenta florestas definidas como a caatinga (ou mata branca na língua tupi), tabuleiros costeiros, mangues, mata úmida, mata decidual, mata atlântica e restinga (PERH, 2007).

O estado possui 11 bacias hidrográficas, dentre as quais se destaca a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, terceiro maior curso d’água do estado da Paraíba, situa-se no extremo leste do Estado da Paraíba, entre as latitudes 6°41’57” e 7°15’58” sul e longitudes 34°54’37” e 36° a oeste de Greenwich ocupa uma área de 3.522,69 Km², é caracterizada por apresentar formações vegetacionais representadas por floresta ombrófila aberta (brejos de altitude), floresta estacional decidual e semidecidual, e ecossistemas associados, nas faixas ecotonais. Apresenta elevada intensidade de impactos antropogênicos, associados com a elevada ocupação humana no entorno, que totalizam um contingente de aproximadamente meio milhão de habitantes, causando diversas modificações, devastação da cobertura vegetal e avanço da eutrofização.

Areia é um município brasileiro do estado da Paraíba, inserido na mesorregião do agreste paraibano, na microrregião do Brejo Paraibano. Sua área é de 267 km², com uma população estimada em 22.776 habitantes (IBGE, 2017). O município de Areia encontra-se inserido parte nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Mamanguape. O clima na região, pela classificação de Köppen, é do tipo As’ (quente e úmido), com estação chuvosa no período outono-inverno, sendo as maiores precipitações nos meses de junho e julho (BRASIL, 1972). A temperatura média anual é de 24° C, com uma umidade relativa média em torno de 80% e precipitação média anual de 1400 mm.

Para o presente estudo foram selecionados dois reservatórios de abastecimento público no município de Areia; a Barragem de Mazagão I e Mazagão II (FIGURA 1).



Figura 1. A – Barragem Mazagão I. B – Barragem Mazagão II. Areia, Paraíba.

A Barragem Mazagão I situa-se entre a latitude $6^{\circ}59'52.89''$ ao sul e a longitude $35^{\circ}42'30.01''$ a oeste, e a Barragem de Mazagão II entre a latitude $6^{\circ}59'49.83''$ ao sul e a longitude $35^{\circ}42'38.74''$ a oeste. As Barragens de Mazagão I e Mazagão II ficam localizadas na parte leste do município de Areia, Paraíba. Ambas são barragens de nível e ficam encravadas em uma região de difícil acesso, com resquícios de mata nativa. Eram juntamente com a barragem de Rio do Canto, as principais fornecedoras de água para abastecimento público do município, recentemente desativados pelo término das construções da adutora da Barragem de Saulo Maia, atualmente principal fornecedora de água para o abastecimento público da Cidade.

4.2. Amostragens

As coletas de água foram realizadas mensalmente, durante o período de um ano, com exceção dos meses de junho e outubro devido a problemas burocráticos da instituição de ensino. A coleta de sedimento foi realizada em dois períodos, antes do início das coletas de água e no último mês dessas coletas. Sendo para ambos os reservatórios foi coletado um total de 10 amostras de água e 10 amostras para sedimento.

4.3. Precipitação Pluviométrica

Os dados da precipitação pluviométrica do período estudado foram obtidos junto ao site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA).

4.4.Procedimentos de Amostragem

4.4.1. Variáveis Analisadas *In Situ*

A transparência foi estimada utilizando o disco de Secchi, a zona eufótica (Zeu) calculada multiplicando o valor obtido através do disco de Secchi segundo Cole (1994), e o coeficiente de atenuação (k) calculado multiplicando 1,7 pelo valor do disco de Secchi elevado a menos um. O pH, a condutividade e a temperatura foram obtidos através de sonda multiparâmetros.

4.4.2. Sedimento

A amostragem do sedimento dos reservatórios estudados foi realizada com auxílio de um amostrador confeccionado em tubo de PVC rígido de 100 mm de diâmetro interno, sendo coletadas amostras simples dos primeiros cinco centímetros (5 cm) do sedimento superficial. Os pontos para coleta de sedimento foram selecionados em função do uso e ocupação do solo predominante na região de entorno, considerando uma área pristina ou de referência, sob vegetação preservada.

Após a coleta, as amostras foram armazenadas em recipientes plásticos, previamente higienizados segundo procedimentos da CETESB (2011). Os recipientes destinados à análise de fósforo foram imersos em solução de HCl 10% (v/v), por 48 horas, sendo posteriormente enxaguados com água destilada. Em seguida, todas as amostras foram congeladas a 4°C até o momento do processamento.

4.4.3. Água

As amostras de água foram coletadas no mesmo ponto do sedimento, através de garrafas de polietileno com capacidade para armazenamento de 1 L de água. As mesmas foram imersas em solução de HCl 10% (v/v), por 48 horas, sendo posteriormente enxaguados com água destilada.

4.5. Análises de Fósforo Total e Ortofosfato na Água

As análises de fósforo total e ortofosfato da água foram realizadas segundo a metodologia descrita por APHA (1998) também conhecida como “método do ácido ascórbico”, e consiste na reação de complexação do ortofosfato pelo molibdato em meio ácido sendo catalisada pelo antimônio, com formação de ácido fosfomolibdico, que é reduzido pelo ácido ascórbico, resultando no chamado azul de molibdênio cuja composição é incerta. A intensidade da cor azul é proporcional à quantidade de fosfato inicialmente incorporada ao heteropoliácido (MARUCHI, 2005). Para determinação do fósforo total a amostra é submetida à digestão com persulfato de potássio, e previamente filtrada em filtros de fibra de vidro.

4.6. Índice de Estado Trófico (IET)

Para o cálculo do IET foi utilizado o índice de CARLSON (1977), modificado para ambientes tropicais por TOLEDO JR. *et al.*, (1983). O índice se baseia nos teores de fósforo total na água.

A expressão utilizada foi a seguinte:

$$\text{IET PT} = 10 \{ 6 - [\ln (80,32 / \text{PT}) / \ln 2] \}$$

Onde:

IET PT = índice de estado trófico para fósforo;

PT = concentração de fósforo total, medida à superfície da água ($\mu\text{g L}^{-1}$).

Conforme os valores encontrados na expressão do IET, o corpo aquático pode ser classificado como:

- Oligotrófico: $\text{IET} \leq 44$
- Mesotrófico: $44 < \text{IET} \leq 54$
- Eutrófico: $54 < \text{IET} \leq 74$
- Hipereutrófico: $\text{IET} > 74$.

4.7. Preparo das amostras de Sedimento para Análise

Para análise dos teores de fósforo do sedimento, as amostras foram descongeladas e em seguida secas a 60°C até peso constante. Após secagem, as amostras foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm retirando-se o material mais grosseiro.

Para realização das análises dos teores de Fósforo total e suas frações uma alíquota de aproximadamente 10 g da amostra foi macerada em gral de porcelana e passada em peneira de 0,177 mm de abertura, sendo armazenadas em recipientes de polietileno até o momento da análise.

4.8. Parâmetros Analisados no Sedimento

Após o processamento da amostra foram determinados o potencial hidrogeniônico (pH), e os teores de fósforo total, fósforo orgânico, fósforo inorgânico, fósforo inorgânico não apatítico - PINA (ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio) e fósforo inorgânico apatítico - PA (Fósforo ligado ao cálcio).

4.8.1. Fósforo Total

O Fósforo total (PT) foi determinado a partir do somatório das frações de fósforo orgânico e inorgânico.

4.8.2. Fracionamento do Fósforo: Inorgânico e Orgânico

Para a obtenção do teor fósforo inorgânico (Pi), foi pesado 0,2 g da amostra de sedimento, em seguida transferida para tubos falcon com capacidade de 50 mL. Após a pesagem foi adicionado 20 mL de HCl 1 M, sendo submetida à agitação por 16 h a 125 rpm. Posteriormente foi realizada a centrifugação a 4.000 rpm por 5 minutos. Uma alíquota do extrato foi neutralizada e diluída a um volume fixo de 20 ML, onde se quantificou o teor de fósforo inorgânico do sedimento através do método do ácido ascórbico.

Com o resíduo da etapa anterior foi quantificado o teor de fósforo orgânico. Após a retirada do extrato utilizado na determinação de fósforo inorgânico (Pi), o resíduo foi lavado com água deionizada, em seguida será centrifugado a 4000 rpm durante 5 minutos, esse procedimento foi repetido mais duas vezes. O extrato foi descartado, o

resíduo transferido para cadinhos de porcelana, sendo calcinados a 450°C por 3 horas. As cinzas foram transferidas para tubos falcon com capacidade de 50 mL, nos quais foi adicionado 20 mL de HCl 1 M, sendo submetida à agitação por 16 h a 125 rpm. Posteriormente foi realizada a centrifugação a 4.000 rpm por 5 minutos. Recolheu-se uma alíquota do extrato que foi neutralizada e diluída a um volume fixo de 20 mL, a partir do qual se quantificou o teor de fósforo orgânico do sedimento através do método do ácido ascórbico.

4.8.3. Fracionamento do Fósforo Inorgânico Não Apatítico - P_{nap} e do Fósforo Inorgânico Apatítico - P_{ap} .

Para o fracionamento do fósforo inorgânico P_{NAP} e P_{AP} , foi pesado 0,2 g da amostra de sedimento, em seguida transferida para tubos falcon com capacidade de 50 mL. Após a pesagem foi adicionado 20 mL de NaOH 1 M, sendo submetida à agitação por 16 h a 125 rpm, posteriormente realizou-se a centrifugação a 4.000 rpm por 15 minutos, separando-se o extrato do resíduo que foi reservado para quantificação do teor de P_{AP} . Em seguida retirou-se uma alíquota de 10 mL desse extrato, transferindo-se para tubos falcon de 15 mL, nos quais foram adicionados 4 mL de HCl 3,5 M, sendo agitados por 16 h a 125 rpm, centrifugado por 15 minutos a 4.000 rpm. Uma alíquota desse extrato foi recolhida, neutralizada e diluída a um volume fixo de 20 mL. Nesse extrato se quantificou o teor de P_{NAP} , através do método do ácido ascórbico.

O resíduo reservado anteriormente foi lavado com 12 mL de NaCl 1M, em seguida centrifugado a 4000 rpm durante 5 minutos, sendo esse procedimento repetido duas vezes, descartando-se o extrato. Após a lavagem, adicionou-se 20 mL de HCl 1M, agitando-se por 16 horas a 125 rpm, sendo posteriormente centrifugada a 4.000 rpm por 15 minutos. Uma alíquota desse extrato foi neutralizada e diluída a um volume fixo de 20 mL. Nesse extrato quantificou-se o teor de P_{AP} , através do método do ácido ascórbico.

4.9. Análise Estatística

Foi realizada a análise descritiva de componentes principais (ACP) através da variação mensal das variáveis físico-químicas da água (transparência, precipitação, condutividade elétrica, pH, fósforo total da água e ortofosfato) e outra ACP com as

variáveis do sedimento (pH, fósforo total, fósforo orgânico, fósforo inorgânico apatítico e fósforo inorgânico não apatítico). O programa utilizado foi o R (The R project for Statistical Computing).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Precipitação Pluviométrica

Como é característico de regiões de brejos de altitude, as chuvas ocorreram durante todos os meses (Tabela 1). Com destaque para os meses que caracterizam a época chuvosa, onde são registrados os maiores volumes de precipitação, que em 2015 concentraram-se principalmente entre os meses de março e agosto.

Tabela 1. Precipitação pluviométrica no município de Areia- Paraíba no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2015.

Mês	Precipitação (mm)
Janeiro	50,9
Fevereiro	65
Março	133,3
Abril	45,3
Maio	91,2
Junho	164
Julho	379,6
Agosto	68,7
Setembro	27,9
Outubro	24,9
Novembro	4,7
Dezembro	92,1

No entanto, apesar do registro constante de chuvas ao longo do ano, a precipitação total acumulada (1147,6 mm), foi menor que a média climatológica (1369,3 mm). Situação similar à observada nas demais áreas da região Nordeste. Essas mudanças bruscas, decorrentes da variação sazonal das condições hidrológicas que são intensificadas por mudanças de padrões de chuva, especialmente as observadas nos últimos anos, são responsáveis por gerar mudanças significativas na qualidade da água (LI et al., 2015).

5.2. Caracterização Físico Química da Coluna de Água

Os valores de transparência nos dois ambientes monitorados variaram de 0,25 (Mazagão II – Mai/15) a 1,4 metros (Mazagão I- Mar/15) (Figura 2). De modo geral ambos os reservatórios apresentaram águas túrbidas, especialmente Mazagão II que apresentou média de transparência de 0,38 metros. Kaiser et al. (2015) observaram baixos valores de transparência ($<0,6$ m) associando esses resultados a presença de elevadas áreas de solo exposto e ao transporte de materiais para o corpo hídrico. Ambos os reservatórios desse estudo estão localizados em áreas próximas a regiões agricultáveis, assim como recebem grande aporte de material orgânico oriundo de resquícios de floresta em seu entorno, o que contribui para maiores valores de turbidez e consequentemente redução da transparência da água.

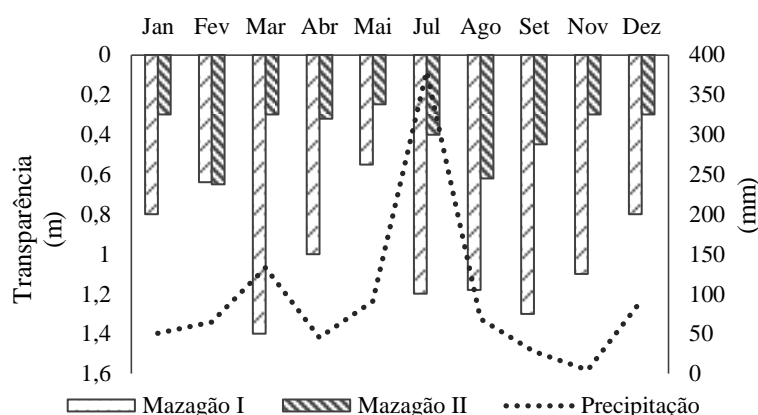


Figura 2. Valores de Transparência e Precipitação observados nos ambientes monitorados.

A condutividade elétrica variou de 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mazagão II - Jul/15) a 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mazagão II - Fev/15). No entanto, a maior média de Condutividade Elétrica foi encontrada no reservatório de Mazagão I (216 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Esse parâmetro representa a capacidade da água em conduzir corrente elétrica, sofrendo variações de acordo com a temperatura e a quantidade de íons dissolvidos. Embora a condutividade elétrica não especifique quais os íons estão presentes no corpo aquático, sua determinação pode contribuir para o reconhecimento de potenciais impactos ambientais (PEDRAZZI et al., 2014), uma vez que valores mais elevados normalmente estão ligados diretamente ao lançamento de efluentes domésticos, industriais e dejetos animais no meio aquático (MORAES, 2001). Valores superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, como os observados nesse trabalho

(Figura 3), são indicativos de impactos ocasionados por ações antrópicas (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013).

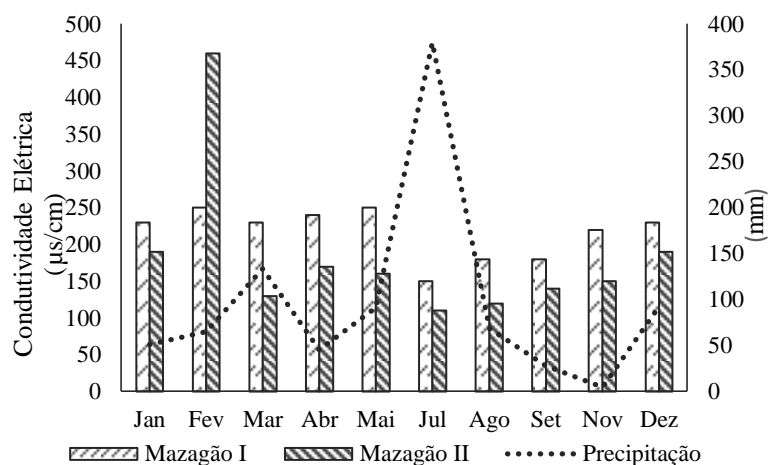


Figura 3. Valores de Condutividade Elétrica e Precipitação observados nos ambientes monitorados.

A água dos reservatórios estudados apresentou temperatura mínima de 23,4 °C (Mazagão I - Jul/15) e temperatura máxima de 36 °C (Mazagão I - Abr/15). Esse parâmetro influencia diversos processos como as reações biogeoquímicas e o consumo de nutrientes (WARD et al., 2013). As variações de temperatura de um corpo hídrico compõem o regime climático normal, apresentando modificações sazonais e diurnas, além da estratificação vertical. Entre os fatores que influenciam nessa dinâmica, podem ser destacados a latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade (SILVA et al., 2017).

Tabela 2. Média \pm desvio padrão (DP) das variáveis da água nos ambientes monitorados no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2015.

Variável	Mazagão I	Mazagão II
	Média \pm DP	Média \pm DP
Temp. Água (°C)	28,75 \pm 3,63	30,21 \pm 3,26
pH	7,71 \pm 0,66	7,84 \pm 0,66
P-total µg/L	23,01 \pm 19,99	25,95 \pm 24,34
P-Orto µg/L	7,26 \pm 2,91	7,84 \pm 8,11

O pH variou de 6,9 (Mazagão I - Jan/15) a 9,11 (Mazagão II- Set /15), sendo Mazagão II o reservatório que apresentou a maior média (7,84), ou seja, águas alcalinas durante todo o período de estudo, estando os valores do mês de setembro em

desconformidade com os padrões da resolução Conama n° 357/05, classe II, que definem pH mínimo em 6 e máximo em 9. Com este resultado, podemos afirmar que o pH alcalino tem o fósforo mais disponível, em vez de absorvido. A ocorrência de valores fora dessas faixas preconizadas pela legislação podem alterar as características organolépticas da água, além de contribuir para a geração de danos no sistema de distribuição de água, como por exemplo a corrosão dessas tubulações, liberando minerais como o ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio, dificultando o tratamento dessa água (SABINO et al., 2017).

Os teores de fósforo total variaram de 10,2 µg/L (Mazagão I e Mazagão II – Ago/15) a 90,32 µg/L (Mazagão II – Dez/15). Deve-se levar em consideração que em Mazagão I nos meses de janeiro (33,02 µg/L) e dezembro (76,75 µg/L), assim como em Mazagão II em novembro (41,12 µg/L) e dezembro (90,32 µg/L), as concentrações de fósforo foram superiores ao limite de 30 µg/L estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357 de 2005, para corpos d'água classe II (Brasil, 2005). Notou-se que os menores teores desse nutriente foram encontrados durante o período chuvoso, comportamento que corrobora com o observado por Porto et al. (2017), e que se deve principalmente ao efeito de lixiviação do nutriente, uma vez que o aporte de água é maior nesse período.

Observou-se teores relativamente baixos de ortofosfato, variando de 1,48 µg/L (Mazagão II – Ago/15) a 28,8 µg/L (Mazagão II – Dez/15). Essa fração do fósforo merece atenção especial, uma vez que é considerado o principal nutriente limitante da produtividade primária em lagos e reservatórios de ambientes tropicais (BARBOSA; CIRILO, 2015). Nessas regiões, a presença constante de altas temperaturas acelera o ritmo metabólico dos organismos, levando a uma assimilação mais rápida do ortofosfato e contribuindo para manter os teores dessa fração baixos, panorama que muda apenas em ambientes eutrofizados, onde os teores normalmente são elevados (BARBOSA et al., 2012).

As classificações obtidas através do Índice de Estado Trófico (IET) agruparam na maioria dos meses os ambientes como oligotróficos ($IET \leq 44$), com exceção do mês de janeiro em Mazagão I ($IET=47,2$) e novembro ($IET=50,34$) em Mazagão II que foram classificados como mesotróficos ($IET > 44 \leq 54$). Em ambos os reservatórios, o mês de dezembro apresentou-se com a predominância de alto estado trófico, resultado dos elevados teores de fósforo total o que os levou a serem classificados como eutróficos ($IET > 54$).

A Análise de Componentes Principais (ACP) registrou 61,12% de explicação nos dois primeiros eixos (Figura 4). Para o eixo 1 as variáveis com maior associação foram fósforo total ($r = 0,55$) e IET ($r = 0,55$), contrastando com pH ($r = - 0,39$). A associação de P-total com IET se deve ao fato destes serem parâmetros dependentes, uma vez que o IET foi calculado com base nos teores de fósforo total. Já a relação negativa de pH com esses dois parâmetros pode estar associada com o maior aporte de material orgânico em dados períodos, o que leva a reações de oxidação, diminuindo assim o pH. Nesse cenário, águas com tendências a leve acidez e enriquecidas por fontes exógenas, apresentaram maiores teores de nutrientes.

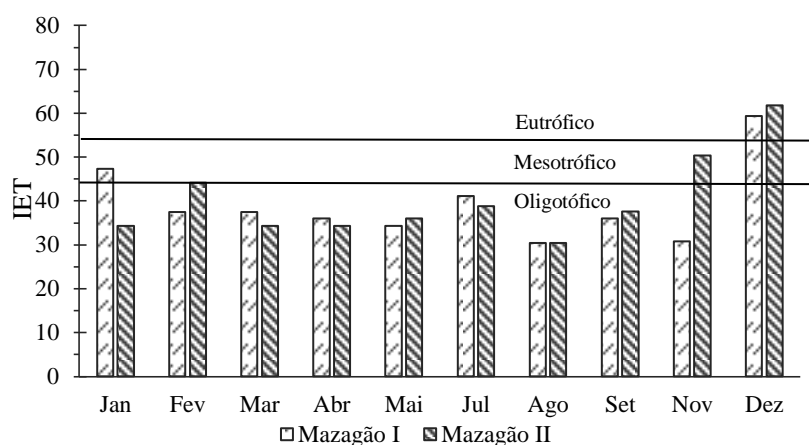


Figura 4. Índice de Estado Trófico dos ambientes monitorados.

Observa-se a formação de um agrupamento da maioria dos meses de Mazagão I, os quais compartilham de maiores valores de transparência e menores teores de ortofosfato, fósforo total e menor estado trófico. Em contraponto, Mazagão II está mais associado a maiores valores de pH. Os meses de janeiro e dezembro em Mazagão I, e novembro e dezembro em Mazagão II, agrupam-se com os maiores teores de nutrientes (FIGURA 5). A presença de águas alcalinas como as encontradas nesse estudo durante grande parte do período, favorecem a co-precipitação ou a precipitação direta entre calcita e fósforo da coluna d'água para o sedimento, contribuindo assim para a sua imobilização (HAN et al. 2011).

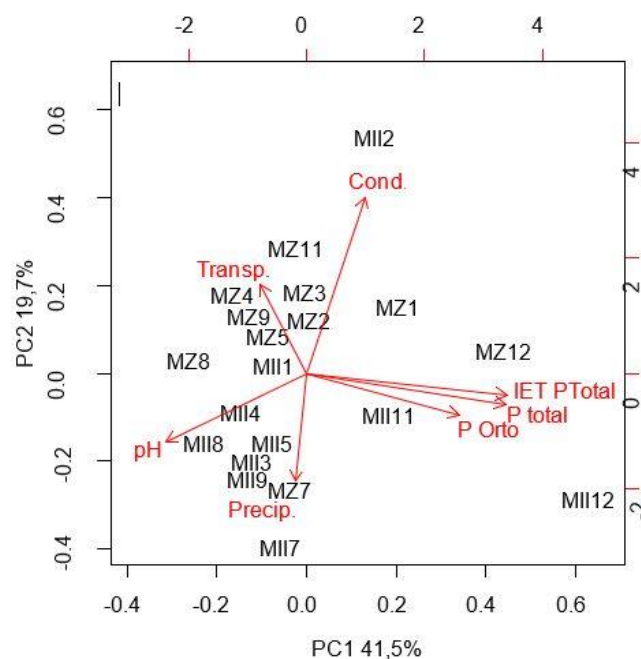


Figura 5. Gráfico da Análise de Componentes Principais. Cond. = Condutividade; Transp.= Transparência; pH = Potencial Hidrogeniônico; IET PTotal = Índice de Estado Trófico; P total = Fósforo Total, P Orto = Ortofosfato, Precip. = Precipitação. MZ = Mazagão I; MII = Mazagão II, 1 a 12 representam os meses de janeiro a dezembro respectivamente.

No eixo 2, que explica 19,7 % da variância original, observou-se a influência da precipitação ($r = -0,44$) sob a condutividade ($r = 0,72$) e a transparência ($r = 0,36$). A ocorrência de chuvas levou a um aporte de água para os reservatórios, permitindo a sua renovação e consequentemente a diluição dos sais dissolvidos, ocasionando assim uma redução da condutividade elétrica, efeito inverso ao observado nos períodos de estiagem (GARCIA et al, 2012). Os eventos de precipitação também são responsáveis pelo escoamento superficial (VASCO et al., 2011), que carregam material particulado para os reservatórios, aumentando a turbidez da água e consequentemente reduzindo a transparência.

5.3. Caracterização do Sedimento

O pH do sedimento dos dois ambientes apresentou-se ácido durante todo o período de amostragem, os valores oscilaram entre 4,67 e 5,04, potencialmente associados aos solos intemperizados do entorno dos reservatórios. Baixos valores de pH em sedimentos são normalmente oriundos de processos de oxidação dos sulfetos de Fe, que geram como produto final o ácido sulfúrico (SILVA et al., 2014).

Tabela 3. Valores de pH e Matéria Orgânica (%) no sedimento dos reservatórios monitorados.

Ambiente	pH	M.O %
Mazagão I 14	4,81	1,23
Mazagão I 15	4,86	1,03
Mazagão II 14	5,04	2,17
Mazagão II 15	4,67	2,14

Os teores de matéria orgânica no sedimento dos ambientes monitorados variaram entre 1,03% (Mazagão -2015) e 2,17% (Mazagão II-2014), com porcentagens inferiores a 10%, o que os caracteriza como sedimentos minerais (ESTEVES, 1998). Em ambientes lênticos, notadamente os de água doce, a dinâmica de transporte e deposição de material orgânico é influenciada por vários fatores, principalmente a textura, pH, potencial redox, temperatura e atividade dos microrganismos no sedimento (LUO et al., 2016). Os resultados aqui encontrados corroboram com os observados por Almeida et al. (2016) no açude Pereira de Miranda, Ceará, onde os teores de M.O foram inferiores a 1% em sedimentos arenosos como os encontrados em Mazagão I e II. A própria MO compete pelos mesmos sítios de adsorção do fósforo. Logo a MO, carga negativa, e Fe^{3+} e Al^{3+} , eles retém deixando o fosforo mais disponível, por isso que os teores de P são altos.

Os teores de P-total no sedimento variaram entre 1521,97 mg kg⁻¹ (Mazagão I – 2015) a 4806,72 mg kg⁻¹ (Mazagão II – 2015). Valores bastante elevados e que refletem a grande carga de fósforo presentes nesses ambientes. Concentrações de fósforo total superiores a 700 mg kg⁻¹ já são indicativos de influência antrópica (TEODORO et al. 2009).

Tabela 4. Valores de fósforo total, orgânico e inorgânico (mg kg⁻¹) no sedimento dos reservatórios monitorados.

Variável	Ambiente			
	Mazagão I 2014	Mazagão I 2015	Mazagão II 2014	Mazagão II 2015
	Concentração mg kg ⁻¹			
P – Total	1964,1	1521,97	4386,1	4806,72
P - Orgânico	289,63	87,83	318,02	507,93
P- Inorgânico	1674,46	1434,14	4068,08	4298,79

O fracionamento do fósforo total mostrou a predominância da fração inorgânica. Em reservatórios de regiões tropicais essa tendência está relacionada

principalmente a litologia local, com alta predominância de apatita ou óxidos / hidróxidos de Fe e Al (FONSECA et al., 2011), foi observado valores altos do P inorgânico, mas este encontra-se retido . Os teores variaram de 1434,14 mg kg⁻¹ (Mazagão I – 2015) a 4298,79 mg kg⁻¹ (Mazagão II – 2015).

Os teores de fósforo orgânico variaram de 87,83 mg kg⁻¹ (Mazagão I – 2015) a 507,793 mg kg⁻¹ (Mazagão II – 2015). Embora ainda esteja sujeita a processos de mineralização, a disponibilidade dessa fração de fósforo é de extrema importância para o ciclo do nutriente, além de que representa um ajuste de feedback para a produção primária nos ecossistemas aquáticos (ZHU et al., 2013).

No fracionamento da fração inorgânica, a predominância foi de Fósforo Inorgânico Apatítico. Essa fração de fósforo é tida como inerte, uma vez que está ligada diretamente a estrutura cristalina da apatita, contribuindo para sua imobilização permanente (ZAN et al., 2011).

Os teores de Fósforo Inorgânico Não Apatítico ficaram entre 275, 56 mg kg⁻¹ (Mazagão I – 2015) e 1915,59 mg kg⁻¹ (Mazagão II – 2015). Essa fração merece destaque, uma vez que é a que melhor reflete a ação antrópica sob o ambiente, sendo a mais importante no tocante a liberação de fósforo para a água e por consequência exerce papel significativo no processo de eutrofização (ZHU et al., 2013).

Tabela 5. Valores de Fósforo Inorgânico Apatítico e Fósforo Inorgânico Não Apatítico (mg kg⁻¹) no sedimento dos reservatórios monitorados.

Variável	Ambiente			
	Mazagão I 2014	Mazagão I 2015	Mazagão II 2014	Mazagão II 2015
	Concentração mg kg ⁻¹			
P I Apatítico	730,12	578,2	1471,33	1915,59
P I Não Apatítico	689,97	275,56	1022,79	1600,35

Através da Análise de Componentes Principais (ACP) foram obtidos dois componentes principais mais significativos (Eixos 1 e 2), associados à matriz de dados, que em conjunto explicaram 98,49 % da variância total em relação às variáveis originais (Figura 5). No eixo 1 observou-se uma relação direta entre os teores de Fósforo Inorgânico Não Apatítico ($r = 0,40$) e Fósforo Inorgânico Apatítico ($r = 0,39$), comportamento que se deve a predominância da fração inorgânica de fósforo nesses sedimentos, e consequentemente a relação das suas duas frações principais.

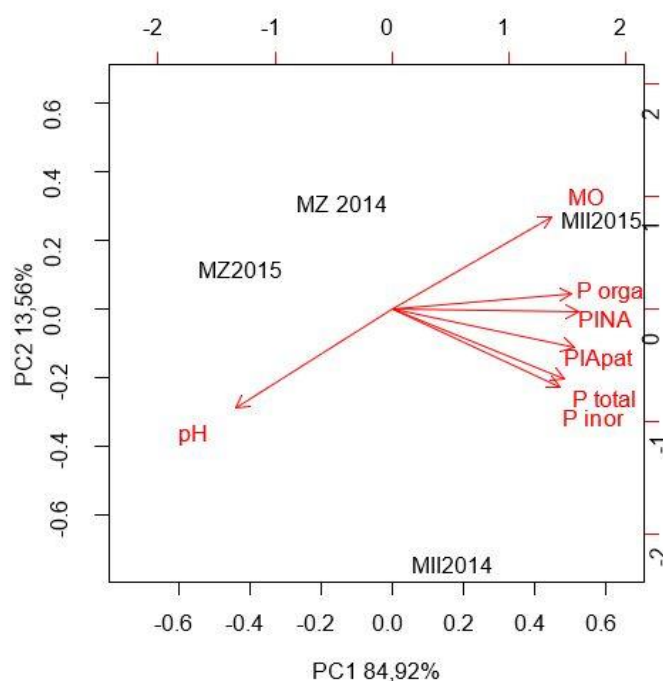


Figura 6. Gráfico da Análise de Componentes Principais (Sedimento). pH = Potencial Hidrogeniônico; P total = Fósforo Total, P orga = Fósforo Orgânico; P inor = Fósforo Inorgânico; PI Apat = Fósforo Apatítico; PINA = Fósforo Não Apatítico; MO = Matéria Orgânica. MZ = Mazagão I; MII = Mazagão II.

O eixo 2 mostrou uma forte relação entre o pH ($r = -0,56$) e o fósforo inorgânico ($r = -0,44$), relação inversa observada com a matéria orgânica ($r = 0,52$). Variações de pH podem gerar efeitos negativos na adsorção dos compostos de fósforo com hematita e goethita (LU et al., 2017), assim sob elevação desse parâmetro, a tendência é a liberação dessa fração de fósforo para a coluna d'água. Já a matéria orgânica detém uma estrutura complexa, que pode fornecer sítios de adsorção para o fósforo inorgânico, aumentando assim a sua adsorção. Embora também traga consigo compostos orgânicos de fósforo que podem ser mineralizados, sua ação de imobilização e inibição da liberação desse nutriente para a água deve ser destacada (ELE et al., 2017). Por sua vez, a definição do papel da matéria orgânica, na adsorção ou liberação do fósforo é dependente do pH (GOMEZ et al., 1999). Dessa forma nos ambientes estudados, o pH tem papel fundamental na dinâmica da liberação do P, que embora esteja presente com valores elevados, está retido tanto a apatita como aos óxidos de Fe e Al, e que devido a acidez do sedimento, tem poucas chances de voltar a coluna d'água.

6. CONCLUSÕES

Os reservatórios estudados apresentaram-se sujeitos a influência da sazonalidade, determinante na variação da qualidade da água desses ambientes. A elevação do estado trófico dos reservatórios esteve ligada as épocas de menor precipitação e menor aporte de água, e por consequência maior concentração de nutrientes. O fracionamento do fósforo no sedimento apontou a predominância da fração inorgânica, indicativo de influência antrópica. Os baixos valores de pH do sedimento e situação contrária na água, desempenham um potencial controle na liberação e imobilização de fósforo reduzindo assim o efeito da eutrofização sobre as águas dos reservatórios estudados.

REFERÊNCIAS

AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**. Disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br/>. Acesso em 17 de agosto de 2017.

ALMEIDA, A. M. M. et al. Avaliação de carbono orgânico total em reservatório no semiárido – caso Pereira de Miranda. **Revista Geonorte**, v. 7, n. 26, p. 35 - 47, 2016.

APHA-AWWA-WPCF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 20th ed, American Public Health/ American Water Works Association/ Water Pollution Control Federation, Washington DC, USA, 1998.

BARBOSA, B. C. et al. Avaliação da Qualidade da Água de um Trecho do Rio Cocó sob Possível Influência do Lixão Desativado do Jangurussu Fortaleza/CE. **Conex. Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 26-40, 2012.

BARBOSA, I. B. R. & CIRILO, J. A. Contribuição média de fósforo em reservatório de abastecimento de água: parte 1. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 39-46, 2015.

BARBOSA, J. E. L. et al. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnol. Bras.**, Rio Claro, v. 24, n.1, mar. 2012.

BAUMGARTEM, M. G. Z.; NIENCHESKI, L. F. & VEECK, L. Nutrientes na coluna da água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica. **Atlântica**, v.23, p.101–116. 2003.

BOERS, C.M.P., VAN RAASPHORTS, W. VAN DER MOLEN, D. T. Phosphorus Retention in Sediments. **Water Science and Technology**. v. 37, n.3, p. 31-39, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Divisão de Agroecologia – SUDENE. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/SUDENE, 1972. 670p. (Boletim Técnico, 15).

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, n. 22, p. 361-369, 1977.

CETESB - **Companhia Estadual Técnica de Saneamento Básico e Defesa do meio Ambiente**, 2011. Variáveis de qualidade das águas. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 12 de agosto de 2016.

CONAMA. Resolução nº 357 de 18 de março de 2005. **Estabelece classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional**. Diário Oficial, Brasília, 18 de março de 2005. Seção 1.

CONLEY D. J.; PAERL, H. W.; HOWARTH, R. W.; et al. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. **Science Magazine**, v.323, p.1014-1015, 2009.

DE JONGE, V. N.; ELLIOT, M.; ORIVE, E. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. **Hidrobiologia**, v. 23, p. 475-476, 2002.

ELE, J.; SU, D.; LV, S.; DIAO, Z.; YE, S.; ZHENG, Z. Analysis of factors controlling sediment phosphorus flux potential of wetlands in Hulun Buir grassland by principal component and path analysis method. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 617, p. 1-9, 2017.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1). 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, p 212, 1997.

EPA. **Lake and Reservoirs Bioassessment and Biocriteria**. Technical Guidance Document. EPA 841-B-98-007. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. Washington, D.C. 1998.

EPA. **Summary of State Biological Assessment Programms for Streams and Rivers**. EPA 230-R-96-007. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. Washington, D.C. 1996.

EPELE, L. B. et al. Disentangling natural and anthropogenic influences on Patagonian pond water quality. **Science of The Total Environment**, v.613–614, p. 866-876, 2018.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Interciência, 2ª Ed. Rio de Janeiro, 1998, 602 p.

EZAKI, S.; HYPOLITO, R.; PÉREZ-AGUILAR, A.; MOSCHINI, F. A. Avaliação da qualidade das águas e sedimentos na microbacia hidrográfica do Córrego do Ajudante, Salto (SP). **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 415-430, 2011.

FONSECA R.; CANÁRIO, T.; MORAIS, M.; BARRIGA, F.J.A.S. Phosphorus sequestration in Fe-rich sediments from two Brazilian tropical reservoirs. **Appl Geochem**, v. 26, p. 1607–1622, 2011.

FRANZEN, M. Dinâmica do fósforo na interface água-sedimento em reservatórios: **Tese**. Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

GARCIA, H. L. et al., Nível trófico do reservatório de Jacarecica I – Sergipe – Brasil. **Scientia Plena**, v. 8, n. 7, p.1-9, 2012.

GOMEZ, E.; DURILLON, C.; ROFES, G.; PICOT, B. Phosphate adsorption and release from sediments of brackish lagoons: pH, O₂ and loading influence. **Water Research**, v. 33, p. 2437–2447, 1999.

HAN, L.; HUANG, S.; STANLEY, C. D.; OSBORNE, T. Z. Phosphorus fractionation in core sediments from Haihe River Mainstream, China. **Soil and Sediment Contamination**, v. 20, p. 30-53, 2011.

HUTCHINSON, G.E. **A Treatise on Limnology: Geography Physics and Chemistry**. v.1, New York: John Wiley & Sons, 1957. 1015p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, **Estimativas da população residente com data 1º de julho de 2017**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=250110&search=paraiba%7Careia%7Cinfograficos%3A-informacoes-completas>>. Acesso em 11 de setembro de 2017.

KAISER, E. A.; CORREA, S. F.; PEREIRA FILHO, W. Influência da precipitação pluviométrica e uso da terra em variáveis limnológicas do reservatório da usina Hidrelétrica Ernestina, RS. **GeoFocus**, n.16, p. 3-22, 2015.

LI, X.; HUANG, T.; MA, W.; SUN, X.; ZHANG, H. Effects of rainfall patterns on water quality in a stratified reservoir subject to eutrophication: Implications for management. **Science of The Total Environment**, v. 521- 522, p.27-36. 2015.

LIBES, S. M. **An Introduction to Marine Biogeochemistry**. New York: John Wiley & Sons, 5: 734, 1992.

LU, C. et al. Environmental geochemistry significance of organic phosphorus: An insight from its adsorption on iron oxides. **Applied Geochemistry**, v. 84, p. 52-60, 2017.

LU, D.; GUO, P. Y.; JI, J. F.; LIU, L. P.; YANG, P. Evaluation of phosphorus distribution and bioavailability in sediments of a subtropical wetland reserve in southeast China. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 556–563, 2016.

LUO, Z. et al. Different hydrodynamic conditions on the deposition of organic carbon in sediment of two reservoirs. **Hydrobiologia**, v. 765, p.15-26, 2016.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona: Omega. 1983, 1010p.

MARUCHI, A.K. Fracionamento de P em plantas empregando diferentes procedimentos de preparo de amostras e sistemas de análise em fluxo monosegmentados. **Dissertação de mestrado**. Universidade de São Paulo. Instituto de Química, 2005.

MORAES, A.J. **Manual para a avaliação da qualidade da água**. São Carlos: RiMa, 2001.

MOTEW, M.; CHEN, X.; BOOTH, E.G. et al. The Influence of Legacy P on Lake Water Quality in a Midwestern Agricultural Watershed. **Ecosystems**, v. 20, n. 8, p.1468–1482, 2017.

MOZETO, A.A. **Sedimentos e particulados lacustres: amostragens e análises biogeoquímicas**. In: BICUDO, C.E.M.; BICUDO, D.C. (Ed.). Amostragem em limnologia. São Carlos: Rima. 2004p. 295–320.

OLILA, O.G.; REDDY, K.R. 1997. Influence of redox potential on phosphate-uptake by sediments in two sub-tropical eutrophic lakes. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 345, p. 45-57.

OSORIO VKL, OLIVEIRA, W. Polifosfatos em detergentes em pó comerciais. **Revista eletrônica Química Nova**. 24, No. 5, 700-708, 2001.

PEDRAZZI, F. J. M.; TOMAZINI, F. C.; SOUZA, D. S. et al. Avaliação da Qualidade da Água no Reservatório de Itupararanga, Bacia do Alto Sorocaba (SP). **Geociências**, v. 33, n. 1, p. 26-38, 2014.

PERH. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. **Relatório Final**. 2007. Disponível on-line em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em 13 de agosto de 2017.

PORTO, A. A.; OLIVEIRA, A. M. S.; SAAD, A. R. et al. Análise geoambiental aplicada ao uso da terra na bacia hidrográfica do córrego capão da sombra, Guarulhos (SP), utilizando fósforo como indicador de qualidade ambiental. **Revista UNG – Geociências**, v. 16, n. 1, p. 6-24, 2017.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R Foundation For Statistical Computing**. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Viena, Áustria. 2006. ISBN: 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2017.

RIBEIRO, I. V. A. S. Estudo do estado trófico do reservatório Acarape do Meio mediante a determinação de indicadores de qualidade de água. 2007. 194 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; NORONHA, C. V. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.5, p.969-983, 2017.

SANTANA, R.; LESSA, G.C.; HASKINS, J.; WASSON, K. Continuous Monitoring Reveals Drivers of Dissolved Oxygen Variability in a Small California Estuary. **Estuaries and Coasts**, v.41, n. 1, p. 99–113, 2018.

SANTOS, J. M.; SANTOS, L. O.; COSTA, J. A. S. Caracterização Geoquímica Orgânica e Inorgânica de Sedimentos de Manguezais do Estuário São Francisco, Sergipe. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2139-2153, 2015.

SCHIEWER, U. 30 Years' eutrophication in shallow brackish waters - lessons to be learned. **Hydrobiologia**, v. 363, p. 73-79. 1998

SILVA, G. S.; DO NASCIMENTO, A. S.; DE SOUSA, E. R.; MARQUES, E. P.; BRANDÃO, A. L. M.; CORRÊA, L. B.; SILVA, G. S. Distribution and Fractionation of Metals in Mangrove Sediment from the Tibiri River Estuary on Maranhão Island, Amazon Region. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 323-336, 2014.

SILVA, M. A.; ARAÚJO, R. R. Análise temporal da qualidade da água no Córrego Limoeiro e no Rio Pirapozinho no estado de São Paulo – Brasil. **Revista Formação**, v.1; n. 24, p. 182-203, 2017.

TEODORO, A. C. et al. Analysis of foraminifera assemblages and sediment geochemical properties to characterise the environment near Araçá and Saco da Capela 95 domestic sewage submarine outfalls of São Sebastião Channel, São Paulo State, Brazil. **Mar Pollut Bull.**, Kidlington, v. 60, p. 536 – 553, 2009.

THOMAZ, S.M. e BINI, L.M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na Represa de Itaipu. In: HENRY, R. **Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais**. FUNDIBIO:FAPESP. São Paulo. 1999. p.597-626.

TOLEDO JR., A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 12, Camboriú. **Anais...** Camboriú: 1983, p.1-34, 1983.

TUNDISI, J. G. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUNDISI, J.G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In. TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. Rima, IIE, São Carlos. 2003. 247p.

VASCO, A. N. et al. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 118-130, 2011.

WARD, N. D.; KEIL, R. G.; MEDEIROS, P. M.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; DITTMAR, T. et al. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. **Nature Geoscience**, v. 6, n. 6, p. 1–4, 2013.

WETZEL, R.G. **Limnology**. EUA: W. B. Saunders Company. 1983 743p.

WU, Z. et al. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. **Science of The Total Environment**, v. 612, p. 914-922, 2018.

ZAN, F.; HUO, S.; XI, B.; LI, Q.; LIAO, H.; ZHANG, J. Phosphorus distribution in the sediments of a shallow eutrophic lake, Lake Chaohu, China. **Environmental Earth Sciences**, v. 62, p. 1643-1653, 2011.

ZHU, Y. R.; FC, W.; HE, Z. Q.; GUO, J. Y.; XX, Q.; XIE, F. Z.; GIESY, J. P.; LIAO, H. Q.; GUO, F. Characterization of organic phosphorus in lake sediments by sequential fractionation and enzymatic hydrolysis. **Environ Sci Technol**, v.47, p.7679–7687, 2013.